

OBSERVASI LAPANGAN MIKRO-PARTIKEL DI ATMOSFER MENGGUNAKAN NANOSAMPLER PADA CEKUNGAN UDARA BANDUNG RAYA

FIELD OBSERVATION OF ATMOSPHERIC MICROPARTICLES USING NANOSAMPLER IN THE GREATER BANDUNG AIR BASIN

Lutfi Ikbal Majid¹, Indra Chandra², Amaliyah Rohsari Indah Utami³

¹Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹lutfiikbalmajid@student.telkomuniversity.ac.id, ²idc.indra.chandra@gmail.com, ³amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id.

Abstrak

Kampanye pengamatan mikro-partikel telah dilakukan di cekungan udara Bandung Raya pada periode musim hujan (14 – 26 Februari 2018) dan kemarau (17 Agustus – 11 September 2018). Pengamatan mikro-partikel menggunakan Nanosampler dengan ukuran >10, 2,5-10, 1-2,5, 0,5-1, 0,1-0,5 dan <0,1 μm . Hasil dari nanosampler adalah konsentrasi massa partikulat (total suspended particles) dengan musim hujan rata-rata di bawah $100 \mu\text{g m}^{-3}$. Hasil tersebut kontras dengan rata-rata di musim kemarau ($>100 \mu\text{g m}^{-3}$). $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} menjadi ukuran tipikal pada pengamatan tersebut, yang bersumber dari jalan raya, industri, dan sumber alami (debu tanah dan garam laut). Hasil analisis massa tersebut adalah kandungan karbon dengan hasil total karbon (TC), rata-rata $\sim 72\%$ adalah organik karbon (OC). Sumber OC tersebut berasal dari aktivitas jalan raya ($\sim 52\%$) dan biogenik ($\sim 72\%$), yang merupakan polutan primer dan menjadi sumber fraksi OC/EC terbanyak dengan sebagian besar sumbernya yaitu bahan bakar fosil, debu, dan mesin diesel. Sisanya adalah karbon anorganik (EC). Terdapat dua bentuk partikulat dalam EC, yaitu fresh particles yang terdapat dalam char-EC dan aged particles dari sumber char-EC (emisi karbon bercampur dengan unsur tanah) dan soot-EC (campuran kondensasi karbon dengan unsur dalam atmosfer, seperti sulfat dan nitrat). $\sim 79\%$ dari kandungan EC adalah char-EC, dengan sumber utama adalah emisi langsung kendaraan bermotor. Sementara itu $\sim 21\%$ kandungan EC adalah soot-EC, yang merupakan kondensasi dari emisi kendaraan bermotor tersebut. Analisis massa lainnya adalah konsentrasi senyawa ion, hasil yang dominan ditemukan adalah amonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ammonium nitrat (NH_4NO_3), dan garam (NaCl). Dengan letak geografis Bandung Raya, sumber dari laut bukan merupakan polusi lokal. Berdasarkan NOAA HYSPLIT back trajectory model, sumber utama dari transportasi jauh rata-rata berasal dari aktivitas laut seperti transportasi laut dan biota yang menghasilkan nitrat dan sulfat. Karena letak geografis tersebut sehingga transportasi, industri dan kegiatan manusia menjadi sumber polusi utama.

Kata Kunci: Polusi udara, Nanosampler, $\text{PM}_{2.5}$, OC/EC, dan Ion.

Abstract

The micro-particle observation campaign has been carried out in the Bandung Raya air basin during the rainy season (February 14-26 2018) and dry season (August 17-September 11, 2018). Observation of micro-particles using nanosamplers with sizes $> 10, 2.5-10, 1-2.5, 0.5-1, 0.1-0.5$ and $<0.1 \mu\text{m}$. The result of the nanosampler is the concentration of particulate mass (total suspended particles) with the average rainy season below $100 \mu\text{g m}^{-3}$. These results contrast with the average in the dry season ($> 100 \mu\text{g m}^{-3}$). $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} are typical measurements of these observations, which are sourced from roads, industries, and natural sources (soil dust and sea salt). The result of the mass analysis is the carbon content with the total carbon yield (TC), on average $\sim 72\%$ is organic carbon (OC). The OC sources come from road activities ($\sim 52\%$) and biogenic ($\sim 72\%$), which are primary pollutants and are the source of the most OC / EC fractions with most sources, namely fossil fuels, dust, and diesel engines. The rest is inorganic carbon (EC). There are two forms of particulates in EC, namely fresh particles contained in char-EC and aged particles from sources of char-EC (carbon emissions mixed with soil elements) and soot-EC (mixture of carbon condensation with elements in the atmosphere, such as sulfate and nitrate). $\sim 79\%$ of the EC content is char-EC, with the main source being direct emissions of motor vehicles. Meanwhile $\sim 21\%$ of the EC content is soot-EC, which is condensation from the emissions of motorized vehicles. Another mass analysis is the concentration of ion compounds, the dominant results found are ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ammonium nitrate (NH_4NO_3), and salt (NaCl). With the geographical location of Bandung Raya, the source of laut is not local pollution, Based on the NOAA HYSPLIT back trajectory model, the main sources of long-distance transportation come from sea activities such as sea transportation and biota which produce nitrate and sulfate. Because of the geographical location, transportation, industry and human activities are the main sources of pollution.

Keywords: Air Pollution, Nanosampler, $\text{PM}_{2.5}$, OC/EC, and Ion

1. Pendahuluan

Perkotaan menjadi sumber polusi udara terbanyak pada suatu negara. Polusi tersebut berasal dari kegiatan manusia seperti transportasi dan industri. Seiring meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah, menyebabkan kegiatan manusia meningkat dan mengakibatkan kenaikan jumlah polusi dalam wilayah tersebut. Polusi udara berasal dari sumber emisi atau dalam bentuk zat disebut juga dengan polutan. Polutan adalah zat apa pun, atau bentuk energi yang memiliki kemampuan mencemari lingkungan, menyebabkan efek berbahaya dan merusak alam [1]. Sedangkan emisi adalah produk

atau keluaran dari suatu kegiatan yang menghasilkan gas atau radiasi ke dalam udara atau atmosfer [2]. Polusi pada perkotaan umumnya berasal dari transportasi dan kegiatan rumah tangga, seperti di Paris sumber polusi berasal dari sampah rumah tangga, lalu lintas, dan aktivitas pertanian yang berasal dari kegiatan pertanian pada wilayah pedesaan yang memberikan kontribusi PM_{2.5} di perkotaan, di London, emisi terbanyak berasal dari pertanian, lalu lintas dan pembangkit listrik dan di China 4% polusi berasal dari pengolahan sampah, 3% dari lalu lintas dan 47% berasal dari penggunaan energi rumah tangga [3].

Polusi udara tersebut umumnya berasal dari senyawa Organik yang memiliki 90% polutan dari semua konsentrasi sub-mikro organik partikulat (PM) yang bersumber dari wilayah tropis [4], dan mempengaruhi kualitas udara dan iklim oleh penyebaran radiasi emisi dan cloud condensation nuclei (CCN) [5]. Fraksi sumber sub-mikro material berasal dari proses polutan sekunder, khususnya oleh oksidasi di atmosfer dari volatile organic compound (VOC) yang teremisi oleh sumber alam dan kegiatan manusia [6]. Emisi primer oleh partikulat biologi sering kali berasal dari suspensi serbuk sari, limbah tanaman, dan debu tanah yang di bawa oleh angin [7]. Umumnya polusi biogenik tersebut berada pada ukuran PM₁₀ [8]. Polutan primer juga terdapat dalam hasil pembakaran bahan bakar fosil, jalan raya dan kegiatan industri [9]. Pembakaran biomassa memiliki kandungan polutan primer dengan dominan senyawa karbon dengan konsentrasi besar pada karbon organik dan sedikit kandungan karbon anorganik pada soot-EC. Natrium dan Klorida menjadi kontribusi terbanyak polutan primer oleh emisi laut yang dibawa dengan aerosol akibat transportasi jarak jauh (menggunakan NOAA back trajectory). Polutan sekunder berasal dari konversi gas ke partikel dalam atmosfer seperti VOC, nitrogen oxides (NO_x), ozone (O₃), hydroxyl radical (OH), dan sulphur dioxides (SO₂) [10]. Organik sekunder terbentuk dari transformasi prekursor gas melalui berbagai jalur, termasuk reaksi oksidasi gas, konversi gas ke partikel dan reaksi senyawa pada fase partikel, transformasi tersebut termasuk akibat dari transportasi jarak jauh dalam atmosfer dan reaksi primer yang beroksidasi dengan oksigen ataupun unsur lainnya di atmosfer [9, 11].

Polusi udara yang melebihi batas ambang sangat buruk bagi kesehatan dan berefek pada kegagalan sistem syaraf, pernafasan, cardiovascular, dan aspek kesehatan lainnya. Seperti dalam studi Global Burden of Disease (GBD), paparan PM_{2.5} menjadi urutan ketujuh faktor berbahaya dengan kontribusi pada kematian global dengan 2.9 juta kematian prematur di tahun 2013. Pembakaran bahan bakar padat menjadi sumber kematian global kedelapan (kedua di Asia selatan) dengan 2.9 juta kematian [12]. Bandung Raya yang merupakan kota metropolitan dengan padat penduduk dan padat industri menghasilkan banyak polusi dari aktivitas jalan raya dan industri. Letak geografis Bandung Raya yang memiliki struktur daerah berupa cekungan, menjadikan pola penyebaran massa udara yang berbeda dengan wilayah di Indonesia lainnya.

Karena keberadaan polusi udara tersebut yang berbahaya, maka perlu di lakukan penelitian kualitas udara sebagai pencegahan pencemaran udara berikutnya. Dengan melakukan pengamatan mikro-partikel di atmosfer Bandung Raya, Nanosampler digunakan sebagai alat untuk pengambilan sampel aerosol. Selanjutnya partikulat yang tertangkap dalam filter kuarsa akan di analisis untuk diidentifikasi sumber polutan pada wilayah Bandung Raya. Analisis yang digunakan adalah analisis karbon organik dan karbon anorganik (OC/EC) dan analisis ion anion dan kation. Lokasi pengamatan mikro-partikel dilakukan di Gedung Tokong Nanas lantai 11, kampus Universitas Telkom.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Nanosampler

Nanosampler adalah sebuah alat yang berfungsi untuk memeriksa komposisi dari materi partikulat yang lebih detail dengan ukuran sampel bervariasi dari >10 (NS1), 2.5-10 (NS2), 1-2.5 (NS3), 0.5-1 (NS4), 0.1-0.5 (IF) dan <0.1 (NS5) μm yang telah di siapkan. Partikel-partikel dengan ukuran spesifik yang telah di tentukan dan terkoleksi pada filter kuarsa menggunakan metode *inertial impactor* kecuali untuk ukuran PM_{0.1}, pada ukuran tersebut metode yang digunakan yaitu filter inersia [13]. Pada tahap impaksi terjadi kombinasi impaktor dan impaksi substrat untuk menghilangkan partikel yang lebih besar dan maju ke tahap filtrasi selanjutnya [14]. Untuk sekarang ini, metode impaksi dibutuhkan untuk pengambilan sampel aerosol dari ruang *chamber* yang kecil dengan pengumpulan sampel dari volume udara yang besar [15]. 50% partikel pada masing-masing pengukuran akan tertangkap oleh pelat koleksi, dan selanjutnya, partikel dengan ukuran di bawah ukuran filtrasi akan melanjutkan ke tahap filtrasi berikutnya. Pada tahap inersia, terdapat metode filter inersia yaitu metode yang berlangsung dalam proses pengumpulan sampel partikel di dalam Nanosampler setelah tahap filtrasi impaktor dengan ukuran filtrasi NS4. Filter inersia memiliki cara kerja yaitu dengan mengumpulkan partikel besar dalam konvensional filter yang terdapat dalam tahap impaktor pada kecepatan impaksi yang tinggi sementara partikel yang kecil akan mengalami difusi *Brownian*, gerak acak terus menerus [16].

2.2 Uji Laboratorium

Organic Carbon-Elemental Carbon (OC-EC) Aerosol Analyzer dari Sunset Laboratory Inc., merupakan perangkat untuk mengukur kandungan karbon dengan metode dasar dari *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 504*. Sampel secara termal akan diserap dari media filter di bawah atmosfer helium *inert* (2%) dan oksigen (92%), dengan suhu yang berbeda-beda. *Sensor flame ionization detector (FID)* digunakan untuk memonitor hasil analisis dengan metode *optical-thermal* [17]. Hasil dari analisis tersebut adalah konsentrasi organik karbon (OC) dan anorganik karbon (EC). Organik karbon adalah unsur ataupun senyawa organik yang mengandung karbon di dalamnya. Organik karbon berasal dari pembakaran sampah organik, biomassa atau bahan organik yang berpotensi sebagai energi, dan kandungan biogenik seperti debu, serbuk sari, spora, dan kotoran hewan. Anorganik karbon, merupakan segala unsur atau senyawa karbon yang dihasilkan oleh sebuah proses pembakaran seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan dan batu bara pada pabrik atau kapal [18]. Hasil analisis berupa fraksi OC₁, OC₂, OC₃, OC₄ dan fraksi EC₁, EC₂, EC₃ [19], dimana OC adalah hasil penjumlahan fraksi OC dan EC adalah hasil penjumlahan dari fraksi EC. Dengan melakukan

uji OC-EC tiga sampel pada bulan Februari dan lima sampel pada bulan Agustus-September, memiliki faktor dimana faktor 1 (OC2, OC3, OC4, EC1) bersumber dari Bahan bakar fosil dan debu jalan raya, faktor 2 (OC4, EC3) bersumber dari gas alam yang menyatu dengan debu jalan raya, faktor 3 (OC2, EC2) bersumber dari mesin diesel, dan faktor 4 (OC1) berasal dari biomassa [20].

Ion chromatography system (ICS) adalah perangkat instrumentasi untuk analisis ion. Proses dalam ICS terdiri dari pemberian sampel pada elusi, injeksi sampel, pemisahan ion (*ion exchange*), peningkatan tekanan konduktivitas eluen (*suppression*), pengukuran konduktivitas elektrik dari sampel ion sehingga mengeluarkan sinyal berdasar sifat kimia dan fisik dari larutan analit (zat sampel) tersebut dan data analisis dengan mengirimkan sinyal dari sel konduktivitas [21]. Dalam penelitian ini ICS 1500 Dionex digunakan untuk pengukuran anion (Cl^- , NO_3^- dan SO_4^{2-}) dan ICS 1600 Dionex digunakan untuk mengukur kation (Na^+ dan NH_4^+). Sumber dari senyawa ion tersebut umumnya berasal dari laut dan aktivitas pertanian, Seperti Na dan Cl berasal dari garam laut, NH_4 berasal nitrat sekunder, jalan raya, sampah penduduk dan aktivitas pertanian (patogen dan pestisida), SO_4^{2-} berasal dari sulfat sekunder dan transportasi laut atau kapal, dan NO_3 berasal dari biogenik atau biota laut dan aktivitas pertanian [22].

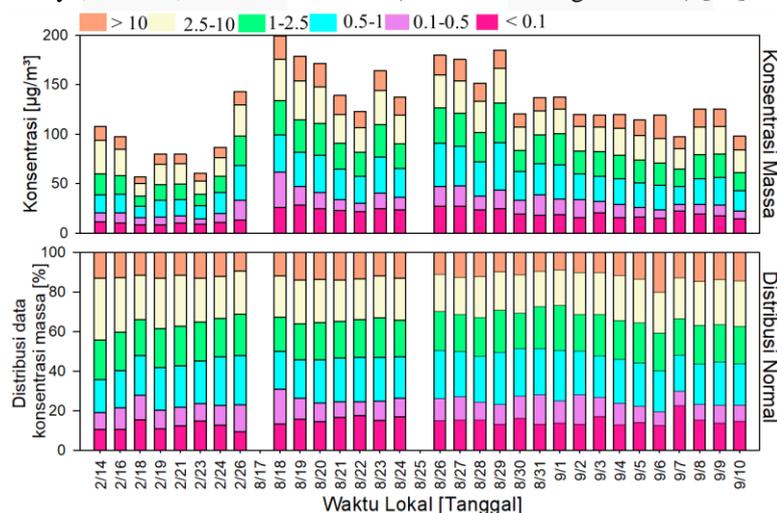
2.4 Lokasi Pengamatan dan Tempat Alat Ukur

Penelitian ini akan dilakukan di atap lantai 11 (~675 mdpl), gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung, Jawa Barat. *Shelter* digunakan untuk menjadi tempat pemasangan alat instrumentasi pengukuran (Nanosampler dan Pompa). *Shelter* memiliki celah-celah ventilasi udara pada setiap atapnya sebagai jalan masuknya udara sehingga aerosol dapat masuk ke dalam Nanosampler, aerosol tersebut kemudian masuk dengan kecepatan aliran 40 L/menit diatur menggunakan *flowmeter* pada pompa. Kondisi lapangan tempat pengukuran berada dekat dengan kawasan industri, serta lalu lintas padat di jalan Dayeuhkolot, Bojongsoang, dan jalan tol (<5 km). Kawasan di lokasi pengukuran merupakan kawasan padat penduduk. Salah satu aktivitas yang masih banyak dilakukan adalah pembakaran sampah secara langsung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Massa dengan *Micro balance*

Pengukuran berat dilakukan dengan *micro balance*, dengan menimbang berat filter sebelum dan sesudah dilakukan pengambilan sampel. Penelitian dilakukan pada periode musim hujan (14 – 26 Februari 2018) dan kemarau (17 Agustus – 11 September 2018) (**Gambar 1**). Pada musim hujan, rata-rata konsentrasi massa partikulat dibawah $100 \mu\text{g m}^{-3}$, sedangkan musim kemarau rata-rata diatas $100 \mu\text{g m}^{-3}$. Saat hujan terjadi, aerosol dalam atmosfer akan dibersihkan oleh air hujan, sehingga saat partikulat saat musim hujan relatif lebih rendah dari musim kemarau. Dengan lokasi pengukuran berada dekat dengan jalan raya dan wilayah industri, indikasi sumber berasal dari kegiatan jalan raya, karena hujan membersihkan debu dan polutan jalan raya. Dari distribusi normal, Tipikal ukuran pada konsentrasi tersebut adalah $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} yang termasuk dalam kategori TSP atau partikulat dibawah $<50\text{-}100 \mu\text{m}$ (*coarse*, *fine*, dan *ultrafine*), yang bersumber dari jalan raya, industri, dan sumber alami (debu tanah dan garam laut) [23].

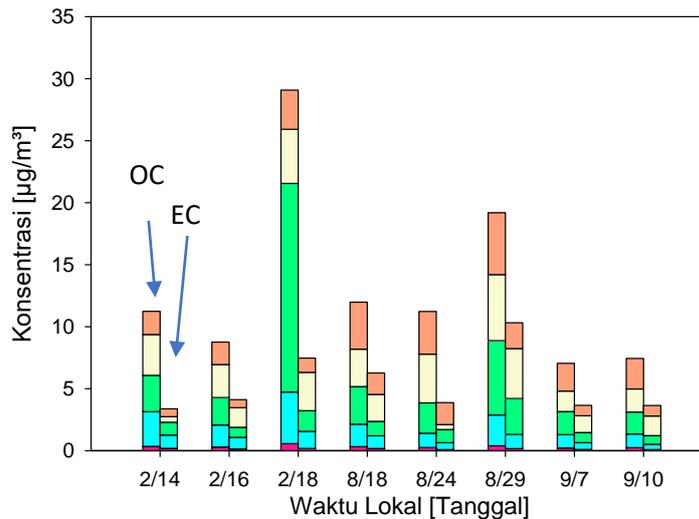


Gambar 1. Konsentrasi massa partikulat dan distribusi ukuran dari partikulat tersebut.

3.2 Hasil Analisis Karbon

Menggunakan *OC-EC Carbon Analyzer*, dapat dilihat pada **Gambar 2**, sebelah kiri-kanan diagram batang adalah konsentrasi massa OC dan EC. Sumber yang paling banyak menghasilkan OC dan EC adalah proses pembakaran bahan bakar, kegiatan industri dan emisi kendaraan bermotor. Kontribusi terbesar adalah berasal dari mesin diesel yang memberikan ~96% dari total karbon (TC) dengan OC menjadi fraksi terbesar dari TC tersebut. Dapat dilihat juga bahwa sumber OC lebih banyak dibandingkan dengan EC. Hal ini dikarenakan lokasi pengukuran berada di dekat jalan raya, pembakaran sampah, dan kawasan industri. Komposisi organik karbon lebih banyak terdapat pada aktivitas kendaraan bermotor khususnya kendaraan dengan mesin diesel dan hasil biogenik. Selain itu terdapat pula organik karbon yang berasal dari proses konversi gas ke partikel di atmosfer yang umumnya telah mengalami oksidasi yang berasal dari polusi

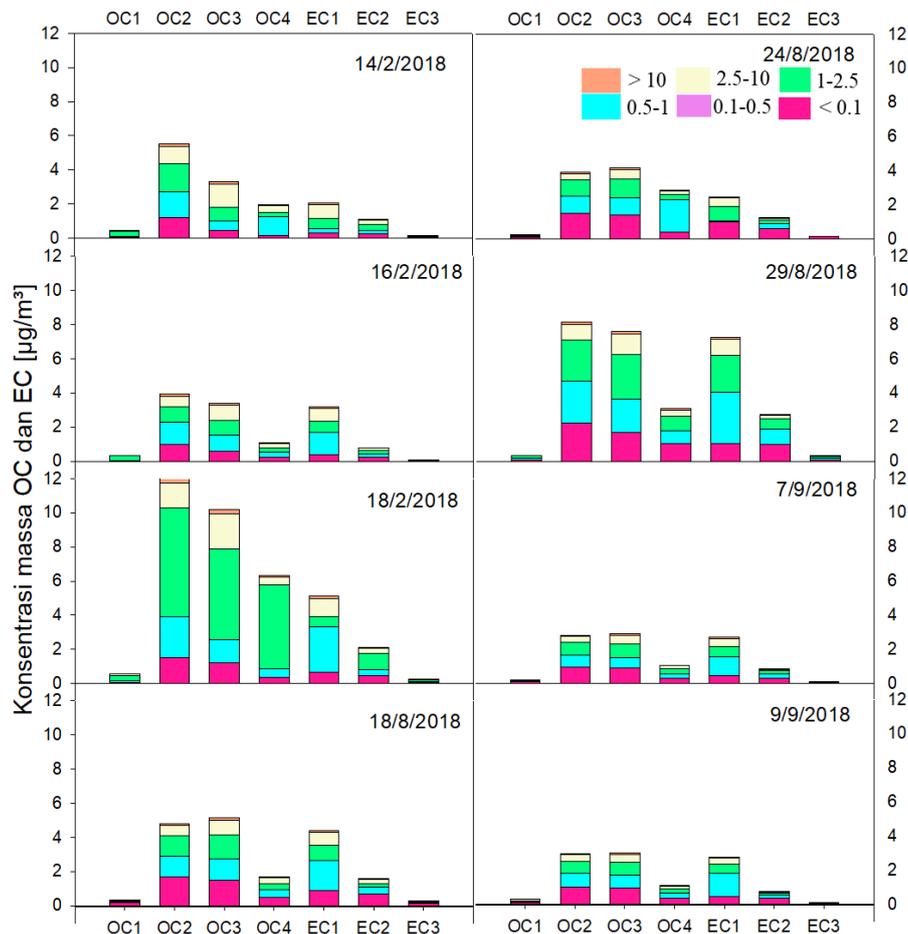
lokal dan transportasi jarak jauh sehingga mempengaruhi penambahan konsentrasi OC. Sementara itu, kandungan EC berasal dari emisi langsung dari pembakaran bahan bakar fosil kendaraan bermotor, biomassa dari pembakaran sampah, dan pembakaran bahan bakar batu bara dari mesin industri [18].



Gambar 2. Konsentrasi karbon: kiri adalah organik karbon (OC) dan kanan adalah anorganik karbon (EC)

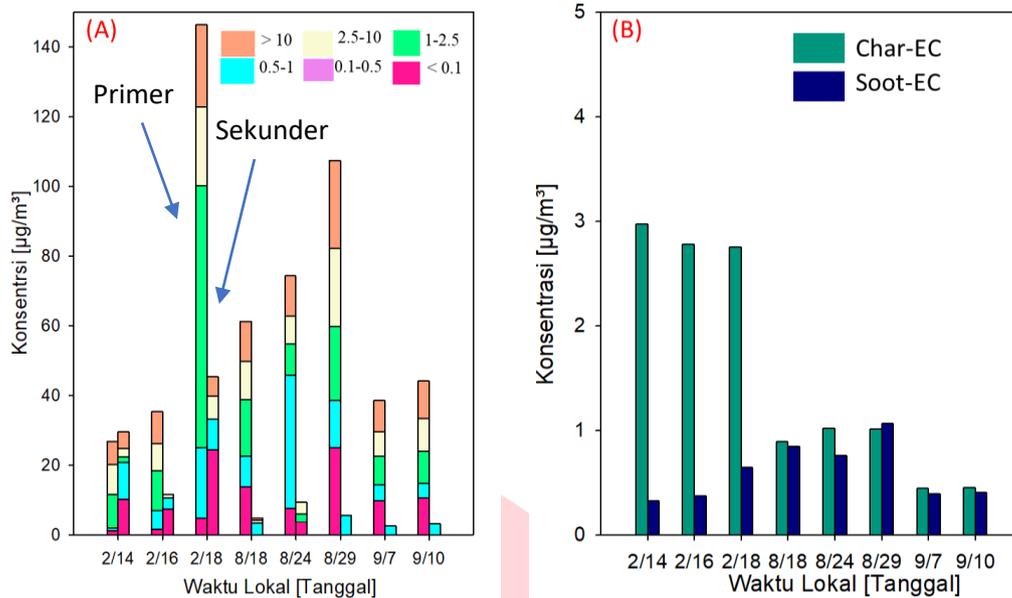
Pada **Gambar 3**, dengan melihat hasil OC pada tanggal 18 Februari, terlihat OC dan EC fraksi pada tanggal 18 Februari terdapat fraksi konsentrasi tertinggi yaitu OC2, OC3, dan OC4, sehingga sumber organik karbon pada hari tersebut berasal dari gasolin, diesel dan debu, sementara itu hasil terbanyak dari fraksi EC adalah EC1 dan EC2 yang berasal dari emisi langsung gasolin dan diesel. Dengan melihat keseluruhan data karbon fraksi pada bulan Februari dan Agustus, memiliki rata-rata fraksi tertinggi berasal dari OC2, OC3, OC4, EC1 sehingga sebagian besar sumber karbon pada perkotaan khususnya Bandung Raya berasal dari bahan bakar fosil, debu, dan mesin diesel dengan dominan sumber tersebut berasal dari jalan raya, dengan lalu lintas jalan yang cukup padat sehingga sangat berdebu pada siang hari seperti pada jalan raya Bojongsoang, Moh. Toha, Banjaran, Dayeuhkolot dan Soekarno Hatta [20].

Analisis OC dilakukan untuk mengetahui sumber polutan berdasarkan proses terbentuknya senyawa tersebut. Terdapat dua jenis polutan yaitu polutan primer atau polutan yang berasal dari sumber emisi langsung seperti debu, asap kendaraan bermotor, dan asap pabrik, serta polutan sekunder yaitu polutan primer yang bereaksi dengan intensitas sinar matahari sehingga mengalami oksidasi dengan oksigen atau pun bereaksi dengan unsur lainnya di atmosfer seperti unsur dalam *water soluble organic compound*, OC, EC, *organic mater*, dan *secondary ionic aerosol* [9]. Pada **Gambar 4(A)**, kandungan OC dapat digunakan untuk menganalisis polutan primer (kiri) dan sekunder (kanan). Kandungan polutan primer memiliki konsentrasi dominan. Hal ini dikarenakan sumber primer pada perkotaan lebih banyak dari emisi kendaraan bermotor, jalan raya, dan industri. Dengan menggunakan model NOAA HYSPLIT *back trajectory* pada tanggal 10 September 2018 diketahui bahwa sumber dari transportasi jarak jauh berasal dari laut, di mana polutan primer dari laut adalah hidroksil (*lactic acid* dan *glycolic acid*), dan sekondernya adalah biota laut, amonia sulfat dari transportasi laut, sodium nitrat dari reaksi garam laut dengan nitrat, dan *volatile organic compound* serta kegiatan fotokimia [24].



Gambar 3 Fraksi karbon pada periode pengukuran bulan Februari dan Agustus-September, 2018..

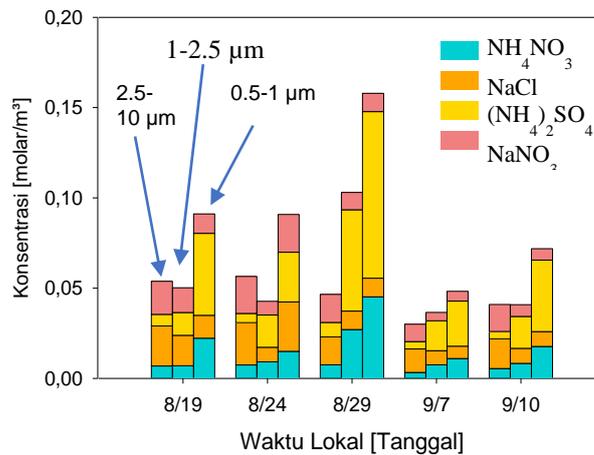
Analisis EC dilakukan untuk mengetahui sumber polutan berdasar terbentuknya senyawa dalam EC. Terdapat dua jenis sumber karbon dalam EC, yaitu *char-EC* atau senyawa karbon yang dihasilkan langsung dari sebuah proses pembakaran tidak sempurna, seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor, biomassa dan petroleum atau produksi minyak bumi. *Char-EC* merupakan partikel primer yang disebut juga *fresh* partikel. Sementara itu, *soot-EC* adalah hasil dari *char-EC* yang telah terkondensasi dari fase uap di dalam atmosfer sehingga menghasilkan partikel yang lebih halus dengan ukuran $<0,1 \mu\text{m}$. Dalam bentuk yang telah terkondensasi, *soot-EC* dapat mengalami *aging particles* atau partikel dengan keberadaan yang cukup lama di atmosfer, dan telah bercampur dengan unsur kimia lainnya seperti OC, sulfat, nitrat, dan lain sebagainya. Umumnya sumber tersebut, datang akibat adanya transportasi jarak jauh [25, 26]. **Gambar 4(B)** menunjukkan kandungan *char-soot* EC pada ukuran $\text{PM}_{0,1}$, karena keberadaan EC di atmosfer terdapat pada ukuran $\text{PM}_{0,1}$. Sebelah kiri adalah *char-EC* dan kanan adalah *soot-EC*. Konsentrasi *char-EC* pada musim hujan (Februari) lebih banyak, tetapi tidak dengan hasil *soot*-nya. Hal itu dikarenakan, hujan yang berlangsung sehingga partikel dalam bentuk *char* sebelum mengalami kondensasi sudah dibersihkan oleh hujan terlebih dahulu. Pada musim kemarau (Agustus-September), konsentrasi massanya relatif sama. Hal ini dikarenakan massa udara saat kemarau adalah kering, dan pada saat itu angin cukup kencang. Hal tersebut membuat aerosol dari transportasi jauh terbawa dan bercampur dengan *soot* pada sumber lokal, sehingga ukuran *soot* tersebut lebih besar dari ukuran semula. Jika melihat dari lokasi pengambilan sampel dekat dengan jalan raya dan kawasan industri membuat hal itu menjadikan sumber utama dari senyawa anorganik karbon berasal dari emisi langsung kendaraan bermotor dan pabrik pada bentuk *fresh* partikel [19].



Gambar 4. (A) Konsentrasi polutan primer dan sekunder pada OC, (B) Konsentrasi char-EC dan soot-EC.

3.3 Hasil Analisis Ion

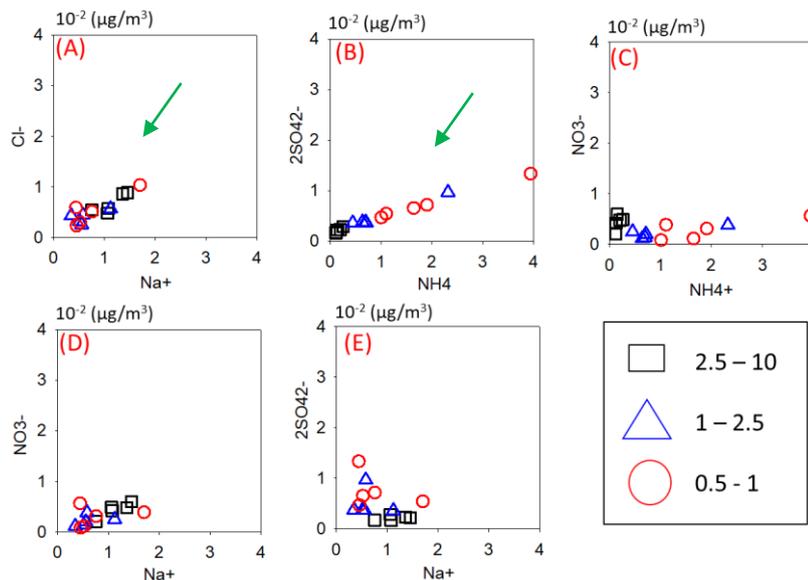
Analisis ion yang di gunakan adalah dengan menjumlahkan konsentrasi senyawa pada NS2, NS3, dan NS4 menjadi ammonium nitrat (NH_4NO_3), garam (NaCl), ammonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), dan sodium sulfat (NaNO_3). Pada Gambar 5, konsentrasi senyawa ion yang dominan ditemukan adalah ammonium sulfat, ammonium nitrat, dan garam. Bandung yang merupakan wilayah di bagian tengah Jawa Barat, dengan lokasi cukup jauh dari laut, sehingga garam bukan merupakan hasil dari polusi lokal. Ammonium dan nitrat kemungkinan datang dari pertanian lokal dan transportasi jarak jauh. Sementara itu, sulfat kemungkinan berasal dari industri lokal dan transportasi jarak jauh (kapal laut). Berdasarkan NOAA HYSPLIT back trajectory model, massa udara berasal dari samudera Hindia. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sumber dari samudera Hindia berasal dari penguapan emisi garam laut dan aktivitas laut lainnya seperti sulfat yang bersumber dari bahan bakar transportasi laut. [24].



Gambar 5. Grafik konsentrasi larutan ion.

Secondary inorganic aerosol (NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^-) terbentuk akibat adanya reaksi oksidasi, ataupun bergabungnya dengan unsur lain di atmosfer, sejak nitrat terbentuk pada kelembaban relatif (RH) yang tinggi dan temperatur rendah mengakibatkan meningkatnya konsentrasi nitrat pada fase cair di malam hari dan sulfat terbentuk akibat RH yang rendah dan temperatur yang tinggi mengakibatkan reaksi fotokimia dari gas ke partikel menjadi lebih cepat [24]. Berdasarkan hal tersebut, dengan menyatakan jika analisis ion hanya dilakukan pada periode Agustus, maka pembentukan senyawa yang mungkin terjadi adalah senyawa sulfat. Selain itu, garam yang merupakan sumber dari laut terbentuk karena keadaan temperatur yang tinggi sehingga garam akan mudah menguap, dan membentuk NaCl . Profil partikel sub-mikro di atmosfer digunakan untuk mengetahui korelasi atau hubungan dari profil A, B, C, D, dan E. Dengan melihat Gambar 6, dapat dilihat bahwa yang memiliki hubungan dengan konsentrasi yang hampir sama adalah profil A dan B, dengan begitu sumber aerosol ionik yang paling mungkin adalah garam laut, hasil aktivitas laut, dan ammonium sulfat, hasil transportasi

laut. Hal tersebut, dengan melihat sumber rata-rata dari *back trajectory model*, massa udara berasal dari laut (garam), kapal laut (sulfat) dan pertanian yang dilalui aerosol (ammonium), dimana aerosol tersebut melewati wilayah tasik, ciamis, cilacap, dan garut yang mana, wilayah tersebut adalah kabupaten dengan rata-rata daerahnya merupakan persawahan dan perkebunan [19, 25].



Gambar 6. Profil partikel sub-mikro di atmosfer, (A) garam (NaCl), (b) ammonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), (C) ammonium nitrat (NH_4NO_3), (D) sodium nitrat (NaNO_3), dan (E) sodium sulfat (Na_2SO_4).

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan berupa konsentrasi massa pada musim hujan yaitu $<100 \mu\text{g m}^{-3}$, dan musim kemarau $>100 \mu\text{g m}^{-3}$. Hujan yang terjadi pada musim hujan menyebabkan aerosol dalam udara dibersihkan oleh air hujan sehingga konsentrasi pada musim hujan cenderung lebih sedikit. Tipikal ukuran pada konsentrasi tersebut adalah $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} , dimana pada ukuran tersebut partikulat dapat masuk dalam saluran pernafasan. Sumber utama polusi pada Bandung Raya umumnya berasal dari polusi lokal seperti aktivitas jalan raya, biogenik dan industri yang menyumbang polutan primer sebanyak $\sim 72\%$. Hal tersebut dilihat berdasar hasil analisis OC dan diperkuat oleh fraksi OC/EC, dengan rata-rata fraksi tertingginya adalah OC2, OC3, OC4 dan EC1 dengan sebagian besar sumbernya yaitu bahan bakar fosil, debu dan diesel yang terdapat dalam kegiatan jalan raya. Dengan menggunakan analisis EC dapat diketahui kategori pembentukan pada kandungan karbon anorganik, *fresh particles* merupakan polutan primer dimana emisinya berasal dari hasil pembakaran langsung kendaraan bermotor dan biomassa, bentuk tersebut terdapat dalam *char-EC* dengan kandungan $\sim 79\%$ dari seluruh EC, hal tersebut karena jarak pengukuran dekat dengan jalan raya. Sementara itu didapati pula kandungan *soot-EC* yang merupakan partikel yang telah tekondensasi dan membentuk *aged particles*, umumnya bentuk tersebut telah bercampuran dengan nitrat dan sulfat di atmosfer. Kemudian sumber dari polusi jarak jauh dapat dilihat berdasar permodelan *back trajectory* dari NOAA, yang dapat mengetahui asal datangnya aerosol tersebut. Hasil model tersebut dalam waktu pengukuran, rata-rata berasal dari laut, dimana menggunakan ion analisis didapati kandungan paling banyak adalah ammonium sulfat, ammonium nitrat dan garam. Dengan mengetahui sumber emisi dari nitrat dan ammonium adalah pertanian, sulfat dari hasil pembakaran bahan bakar padat (kapal laut), dan garam dari laut. Maka sumber paling mungkin yang berasal dari laut adalah ammonium sulfat dan garam jika menggunakan profil partikel sub-mikro di atmosfer, sementara itu nitrat bisa saja berasal dari kegiatan pertanian lokal.

5. Daftar Pustaka

- [1] JR.Miller., Taylor. 2002. Living in the environment. USA: Brook/Cole.
- [2] (anonym). 2016. Air Pollution Emissions Overview. United States Environmental Protection Agency
- [3] Lelieveld, j., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D., and Pozzer, A. 2015. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. Inggris : Nature.
- [4] Kanakidou, M., Seinfeld., Pandis, S.N., Barnes, I., Dentener, F.J., Facchini, M.C., ... Wilson., J. 2005. Organic Aerosol and Global Climate Modelling: A Review. Yunani: Atmospheric Chemistry and Physics.
- [5] Ramanathan, V., Crutzen, P.J., Kiehl, J.T., and Rossenfeld, D. 2001. Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. Wahington.DC : America Association for the Advancement of Science.
- [6] De Sa, S, S., Hu, W., and de Brito, J.F. 2017. Influence of Urban Pollution on the Production of Organic Particular Matter from isoprene epoxydiols in Central Amazonia. Brazil : Atmospheric Chemistry and Physics.
- [7] Jaenickel, R. 2005. Abundance of Cellular Material and Proteins in the Atmosphere. Jerman : Science.

- [8] Graham, B., Guyon, P., Maenhaut, W., Taylor, P.E., Ebert, M., Matthias-messer, S., ... Andreae, M.O. 2003. Composition and diurnal variability of the natural Amazonian aerosol. *Amerika : Journal of Geophysical Research*.
- [9] Na, K., Sawant, A.A., Song, C., & Cocker, D. R. 2003. Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California. *Amerika Utara: Elsevier*.
- [10] Martin, S.T., Andreae, M.O., Ataxo, P., Baumgarden, D., Chen, Q., Goldstein, A, H., ... Trebs, I. 2010. Source and Properties of Amozinian Aerosol Particles. *Amerika: American Geophysical Union*.
- [11] Li, K., Li, J., Liggio, J., Wang, W., Ge, M., Liu, Q., ... Fu, P. 2017. Enhanced Light-scattering of secondary Organic Aerosols by Multiphase Reactions. *Amerika: Environmental Science and Technology*.
- [12] West, J., Cohen, A., Dentener, F., Brunekreef, B., Zhu, T., Amstrong, B., Wiedinmyer, C. 2016. What we breathe impacts our health: improving understanding of the link between air pollution and health. *Quensland: Environmental Science and Technology*.
- [13] Chandra, I, Seyoung K., Takafumi, S., Otani, Y., Takami, A., Yoshini, A., ... Hatakeyama, S. 2016. New particle formation under the influence of the long-rangetransport of air pollutants in East Asia. *Japan: Atmospheric Environment*.
- [14] Peters, T., and Cena, L. 2016. Personal Nanosampler Respiratory Deposition Sampler and Method of Using The Same. *Amerika: United States Patent*.
- [15] Mercer, T.T., Tillery, M.I., dan Newton, G.J. 1968. A Multi-Stage, Low Flow Rate Cascade Impactor. *Aerosol Science, .*
- [16] Otani, Y., Kazunobu, E., Masami, F., Naoko, T., & Perapong, T. 2007. Inertial Classification of Nanoparticles with Fibrous Filters. *Jepang: Aerosol and Air Quality Research*,
- [17] Sunset laboratory Inc.
- [18] Avino, P., Manigrasso, M., Dodaro, A. 2014. Measurement of organic and elemental carbon in downtown Rome and background area: Physical behavior and chemical speciation. *Itali: Royal Society of Chemistry*.
- [19] Han, Y., Cao, J., Chow, J.C., Watson, J.G., An, Z., Jin, Z.,...Liu, S. 2007. Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC. *China : Elsevier*.
- [20] Begum, B.A., Roy, K., Islam, F., Salam, A, Hopke, P.K. 2012. Source Identification of Carbonaceous Aerosols During Winter Months in The Dhaka City. *India: Bangladesh Academy of Science*.
- [21] Ion Chromatography System 1500 & 1600 Dionex, Thermo Fisher Scientific Inc.
- [22] Umezawa, Y., Hosono, T., Onodera, S.I., Siringan, F., Buapeng, S., Delinom, R., ... Taniguchi, M. 2008. Source of Nitrate and Ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities. *Jepang: Elsevier*.
- [23] Abiven, S., Hengartner, P., Schneider, M.P.W., Singh, N., Schmidt, M.W.I. 2011. Pyrogenic carbon soluble fraction is larger and more aromatic in aged charcoal than in fresh charcoal. *Zurich : Soil, Biology and Biochemistry, Elsevier*.
- [24] Rinaldi, M., Decesari, S., Finessi, E., Giulianelli, L., Carbone, C., Fuzzi, S., ... Facchini, M.C. 2010. Primary and Secondary Organic Marine Aerosol and Oceanic Biological Activity: Recent Result and New Perspectives for Future Studies. *Itali: Hindawi Journal Advances in Meteorology*.
- [25] Kim, H., Zhang, Q., and Heo, J. 2018. Influence of intense secondary aerosol formation and long-range transport on aerosol chemistry and properties in the Seoul Metropolitan Area during spring time: results from KORUS-AQ. *Korea : Atmospheric Chemistry and Physics*.
- [26] Buseck, P.R., Adachi, K., Gelencser, A., Tompa, E., and Posfai, M. 2012. Are black carbon and soot the same?. *Amerika : Atmospheric chemistry and physics*.